



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 199 47 853 A 1

51 Int. Cl. 7:  
H 01 S 5/183  
H 01 S 3/0941

21 Aktenzeichen: 199 47 853.8  
22 Anmeldetag: 5. 10. 1999  
43 Offenlegungstag: 20. 4. 2000

30 Unionspriorität:  
98226202 17. 10. 1998 GB  
71 Anmelder:  
Mitel Semiconductor AB, Jarfalla, SE  
74 Vertreter:  
Hoefer, Schmitz, Weber, 81545 München

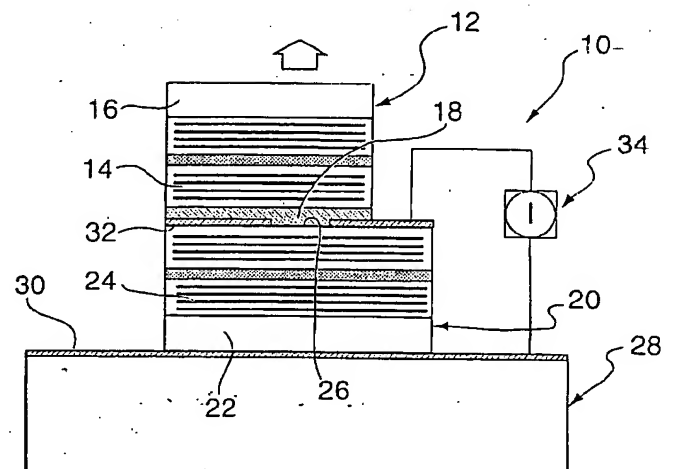
72 Erfinder:  
Streubel, Klaus, Jarfalla, SE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vertikaler Langwellen-Laserresonator mit integriertem Kurzwellen-Pumplaser

57 Ein vertikaler Langwellen-Laserresonator mit einem integrierten Kurzwellen-Pumplaser. Der Laser bildet einen Kurzwellen-Pumplaser mit einem Langwellen-Laser in überlagernder Beziehung. Die angeregte Emission von dem Kurzwellen-Laser bewirkt, daß sie den Langwellen-Laser aktiviert. Ein optisch transparenter Klebstoff befestigt und montiert die Laser in vertikaler Ausrichtung. Ausrichtungsprobleme werden mit der Struktur nicht realisiert und es werden keine Verluste freier Träger oder andere typischerweise mit den herkömmlichen Anordnungen verbundene Komplexitäten verwirklicht.



DE 199 47 853 A 1

DE 199 47 853 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen vertikalen Langwellen-Laserresonator mit integriertem Kurzwellen-Pumplaser und insbesondere auf einen derartigen Laser, der durch die Kombination von zwei unabhängigen vertikalen oberflächenemittierenden Laserresonator(VCSEL)-Strukturen gebildet ist, die zusammen einen elektrisch angetriebenen vertikalen Laserresonator bilden, der bei einer langen Wellenlänge bzw. Langwelle emittiert.

Wie auf dem Gebiet der Lasertechnik bekannt, wurde die Entwicklung von vertikalen Laserresonatoren (VCLs) auch "Vertical Cavity Lasers" genannt, die lange Wellenlängen (1300 bis 1550 nm) emittieren, durch den Mangel an geeigneten epitaktischen Spiegeln, hohe optische Verluste innerhalb des Laserresonators und eine niedrige und temperaturempfindliche optische Verstärkung in der aktiven Schichtstruktur verkompliziert. Anstelle einer Injektion von elektrischem Strom kann der Laservorgang viel einfacher aktiviert werden, indem das aktive Material unter Verwendung einer externen Lichtquelle mit einer kürzeren Wellenlänge optisch angeregt wird ("optisches Pumpen"). Die Verluste freier Träger in einer optisch gepumpten vertikalen Laserresonator-Struktur sind bedeutend verringert, da nur nominell undotierte Halbleitermaterialien verwendet werden. Es ist auch möglich, dielektrische Materialien beispielsweise als Schichtpaare mit hohem Index-Kontrast für hochreflektierende Bragg-Spiegel zu verwenden. Die Pumpquelle ist unter Verwendung eines auf GaAs basierenden vertikalen Laserresonators, der bei einer Wellenlänge im Bereich von 780 bis 980 nm emittiert, einfacher herzustellen. Im Stand der Technik wurden gute Ergebnisse mit monolithischen vertikalen 1300 nm Laserresonatoren nachgewiesen, die zusammen mit einem vertikalen 850 nm Pump-Laserresonator auf der Oberseite der gegenwärtigen 1300 nm Struktur hergestellt wurden. Dies wurde durch V. Jayaraman et al., Uniform Threshold Current, Continuous-Wave, Single Mode, 1300 nm Vertical Cavity Lasers From 0 to 70°C, Electron. Lett., Vol. 34, Nr. 14, 1998, S. 1405 hergestellt. Die Herstellung dieser elektrisch/optisch angetriebenen vertikalen Laserresonatoren (e/o-VCL) erfordert eher eine fortgeschrittene Verarbeitung, wie beispielsweise zwei Waferverbindungsschritte und die Herstellung eines vertikalen Pump-Laserresonators vom Mesa-Typ mit in derselben Ebene liegenden Kontakten.

Es wäre wünschenswert, die Ergebnisse im Stand der Technik unter Verwendung von zwei getrennten vertikalen Laserresonator-Strukturen zu erreichen, die keine Ausrichtungsprobleme aufweist und andere Vorteile bezüglich Kosten usw. aufweist. Die vorliegende Erfindung erreicht dieses Ziel.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Hauptanspruchs gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

Gemäß einem Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung ist ein vertikaler Langwellen-Laserresonator ausgebildet, mit:

einem oberseitenemittierenden vertikalen Kurzwellen-Laserresonator und einem optisch gepumpten vertikalen oberflächenemittierenden Langwellen-Laserresonator, der den Kurzwellen-Laser überlagert und in optischen Verbindung mit dem Kurzwellen-Laser steht.

Entsprechend einem weiteren Gesichtspunkt eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren ausgebildet zum Herstellen eines vertikalen Langwellen-Laserresonators, mit:

einem oberseitenemittierenden vertikalen Kurzwellen-Laserresonator und einem optisch gepumpten oberflächenemittierenden vertikalen Langwellen-Laserresonator, mit den Schritten:

Positionieren des Kurzwellen-Lasers in überlagernder Beziehung zum Langwellen-Laser, Leiten von elektrischem Strom in den Kurzwellen-Laser, um eine Lichtemission zu erzeugen, Leiten von emittiertem Licht durch einen unteren Spiegel des Langwellen-Lasers und Anregen einer Langwellen-Emission vom Langwellen-Laser durch einen oberen Spiegel des Langwellen-Lasers.

In der vorliegenden Erfindung ist ein elektrisch/optisch angetriebener vertikaler Laserresonator offenbart, der auf dieselbe Weise, wie die von Jayaraman et al. supra genannte, funktioniert, besteht aber aus zwei getrennten, ebenen vertikalen Laserresonator-Strukturen. Das Gesamtkonzept besteht darin, einen optisch gepumpten vertikalen Langwellen-Laserresonator in überlagernder Beziehung zu einem ebenen vertikalen Kurzwellen-Laserresonator anzuordnen. Ein mechanischer Kontakt zwischen den zwei vertikalen Laserresonatoren erfolgt unter Verwendung eines optisch durchsichtigen Klebers. Der Kleber kann auch verwendet werden, um die Rückreflektion des Pumplichts zu verringern. Die seitlichen Abmessungen der optisch gepumpten Probe sind kleiner als die des vertikalen Pump-Laserresonators, um einen Zugriff auf die obere Metallelektrode auszubilden. Die seitliche Ausrichtung zwischen zwei Lasern ist nicht kritisch und könnte durch eine automatisierte Packeinrichtung vereinfacht werden.

Nachdem somit die Erfindung allgemein beschrieben wurde, wird nun Bezug auf die Zeichnung gemacht, die ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel veranschaulicht.

Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Laserstruktur gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Gemäß der Zeichnung veranschaulicht Fig. 1 schematisch ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, das global durch Bezugszahl 10 bezeichnet wird. Wie veranschaulicht umfaßt ein optisch gepumpter vertikaler Langwellen-Laserresonator (VCSEL) 12 einen optisch gepumpten Langwellen-Laser mit einer aktiven Schicht 14 und einem InP- oder GaAs-Substrat 16. Alle Elemente derartiger vertikaler Laserresonatoren sind im Stand der Technik wohlbekannt. Im gezeigten Ausführungsbeispiel enthält die vertikaler Langwellen-Laserresonator 12 eine Öffnung 18, die in optischer Verbindung mit einem vertikalen Kurzwellen-Laserresonator ist, wobei die letztere global durch die Bezugszahl 20 bezeichnet wird. Der Laser 20 enthält ein GaAs-Substrat 22 und die typischen aktiven Schichten 24. Der Laser 20 enthält weiterhin eine Öffnung 26 für ein Durchlassen von Lichtemission dadurch und in Verbindung mit dem Laser 12, der in überlagernder Beziehung angeordnet ist. Der Laser 20 ist auf einer Unterbefestigung 28 befestigt, die zusammen mit einem Metallkontakt 32 auf dem Laser 20 als ein Metallkontakt 30 dient. Eine elektrische Stromquelle 34 ist mit dem Kurzwellen-Laser 20 verbunden, um eine Emission zu induzieren.

In Funktion wird ein elektrischer Strom über den vertikalen Pump-Laserresonator (VCL) 20 injiziert. Dies erzeugt

eine angeregte Emission (z. B. bei 850 nm) über dem Laserschwel­lenwert. Die (nicht gezeigten) Spiegelreflektivitäten sind derart gewählt, daß das meiste Laserlicht durch eine Öffnung in der p-Elektrode 32, den transparenten Kleber und den unteren Spiegel des vertikalen Langwellen-Laserresonators (VCL) 12 aufwärts gekoppelt wird. Das Kurzwellen-Pumplicht wird in dem aktiven Bereich 14 der oberen vertikalen Laserresonator-Struktur 12 absorbiert, wobei es eine angeregte Langwellen-Emission erzeugt. Die Langwellen-Emission wird über den (nicht gezeigten) oberen Spiegel und das transparente InP- oder GaAs-Substrat 16 entfernt. Dies wird im allgemeinen durch den Pfeil in der Figur bezeichnet.

Angesichts der Tatsache, daß der optisch gepumpte vertikale Laserresonator nicht elektrisch leitfähig sein muß, kann er auch Luftspalt-Strukturen enthalten, in denen Opferschichten durch selektives Ätzen entfernt werden, das durch Streubel et al. in 1,26 µm Vertical Cavity Laser with Two InP/Air-Gap Reflectors, Electron. Lett., Vol. 32, 1996, S. 1369 gelehrt ist. Die epitaktische Struktur eines vertikalen Langwellen-Laserresonators, der einen oder zwei Luftspalt-Spiegel enthält, kann einfach durch epitaktische Standardtechnologien aufgewachsen werden. Die Luftspalt-Struktur bietet den zusätzlichen Vorteil einer externen Wellenlängenabstimmung, z. B. durch elektrostatische Kräfte.

Die Struktur gemäß der vorliegenden Erfindung kombiniert alle Vorteile eines elektrisch/optisch angetriebenen vertikalen Laserresonators mit einer Standardverarbeitungs- und Packtechnologie mit niedrigen Kosten. Die fundamentalen Vorteile eines elektrisch/optisch angetriebenen vertikalen Laserresonators sind:

- i) verringerte Verluste an freien Trägern in dem vertikalen Langwellen-Laserresonator aufgrund des Mangels an Dotierung und
- ii) Strominjektion und Widerstandsheizung nur in dem vertikalen Kurzwellen-Pump-Laserresonator.

Die hier dargelegte elektrisch/optisch angetriebene vertikale Laserresonator-Struktur bietet die folgenden Vorteile:

- i) Entwurfsflexibilität in der Wahl der optisch gepumpten Struktur (siehe Tabelle 1),
- ii) die Pumpquelle und der optisch gepumpte vertikale Laserresonator können unabhängig hergestellt, getestet und optimiert werden,
- iii) der vertikale Kurzwellen-Pump-Laserresonator kann aus kommerziell verfügbaren Einrichtungen entwickelt werden, wobei alle erforderlichen Technologien verfügbar sind,
- iv) die emittierte Wellenlänge wird nur durch die optisch gepumpte Struktur definiert. Ein am Sockel befestigter Standard-Pump-Laserresonator kann als ein Grundgebildeblock für verschiedene vertikale Langwellen-Laserresonatoren verwendet werden und
- v) die Packung gemäß vorliegenden Erfindung erzeugt ein Produkt mit niedrigen Kosten.

Die folgenden Kombinationen von vertikalen Laserresonatoren sind möglich:

<p>Vertikaler Pump-Laserresonator</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 850 nm oberseitenemittierender vertikaler Laserresonator</li> <li>➤ 980 nm ober- oder unterseitenemittierender vertikaler Laserresonator</li> <li>➤ vertikale Laserresonatoren mit H-implantierter Stromöffnung</li> <li>➤ vertikale Laserresonatoren mit Al-Oxid-Stromöffnung</li> <li>➤ vertikale Laserresonatoren vom Mesa-Typ</li> </ul>
<p>Optisch gepumpte vertikale 1300 nm Laserresonatoren</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ vertikaler Laserresonator mit zwei Luftspalt-Spiegeln</li> <li>➤ vertikaler Laserresonator mit einem Luftspalt-Spiegel und einem dielektrischen Spiegel</li> <li>➤ vertikaler Laserresonator mit zwei waferverschweißten GaAs/AlGaAs-Spiegeln</li> <li>➤ vertikale Laserresonatoren mit einem waferverschweißten GaAs/AlGaAs und einem dielektrischen Spiegel</li> <li>➤ vertikale Laserresonatoren mit zwei dielektrischen Spiegeln</li> <li>➤ vertikale Laserresonatoren mit zwei GaAs/AlGaAs-Spiegeln und an die aktive GaInNAs-Schicht angepaßtem Gitter</li> </ul>
<p>Optisch gepumpte vertikale 1550 nm Laserresonatoren</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ vertikaler Laserresonator mit zwei Luftspalt-Spiegeln</li> <li>➤ vertikaler Laserresonator mit einem Luftspalt-Spiegel und einem dielektrischen Spiegel</li> <li>➤ vertikaler Laserresonator mit einem Luftspalt-Spiegel und einem epitaktisch aufgewachsenen Spiegel (GaAs/AlGaAs oder GaInAsP/InP)</li> <li>➤ vertikale Laserresonatoren mit einem waferverschweißten GaAs/AlGaAs und einem InP/GaInAsP-Spiegel</li> <li>➤ vertikaler Laserresonatoren mit zwei waferverschweißten GaAs/AlGaAs-Spiegeln</li> <li>➤ vertikale Laserresonatoren mit einem waferverschweißten GaAs/AlGaAs und einem dielektrischen Spiegel</li> <li>➤ vertikaler Laserresonator mit zwei dielektrischen Spiegeln</li> <li>➤ vertikale Laserresonatoren mit zwei GaAs/AlGaAs-Spiegeln und an die aktive GaInNAs-Schicht angepaßtem Gitter</li> </ul>

Obwohl vorstehend Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben wurden, ist sie nicht darauf beschränkt und es wird für den Fachmann offensichtlich sein, daß zahlreiche Modifikationen so weit einen Teil der vorliegenden Erfindung bilden, daß sie nicht vom Geist, der Natur und dem Schutzzumfang der beanspruchten und beschriebenen Erfindung ab-

weichen.

Zusammenfassend offenbart die vorliegende Erfindung einen vertikalen Langwellen-Laserresonator mit einem integrierten Kurzwellen-Pumplaser. Der Laser bildet einen Kurzwellen-Pumplaser mit einem Langwellen-Laser in überlagernder Beziehung. Die angeregte Emission von dem Kurzwellen-Laser wirkt, daß sie den Langwellen-Laser aktiviert. Ein optisch transparenter Klebstoff befestigt und montiert die Laser in vertikaler Ausrichtung. Ausrichtungsprobleme werden nicht mit der Struktur realisiert und es werden keine freien Trägerverluste oder andere typischerweise mit den herkömmlichen Anordnungen verbundene Komplexitäten verwirklicht.

#### Patentansprüche

1. Vertikaler Langwellen-Laserresonator mit:  
einem oberseitenemittierenden vertikalen Kurzwellen-Laserresonator (20) und  
einem optisch gepumpten oberflächenemittierenden vertikalen Langwellen-Laserresonator (12), der den Kurzwellen-Laser (20) überlagert und in optischer Verbindung mit dem Kurzwellen-Laser (20) steht.
2. Laser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Langwellen-Laser (12) eine Wellenlänge von 1300 nm besitzt.
3. Laser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kurzwellen-Laser (20) eine Wellenlänge besitzt, die einen Laser mit einer Wellenlänge von 850 nm umfaßt.
4. Laser nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser ein oberseitenemittierender Laser ist.
5. Laser nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser eine wasserstoff-implantierte Stromöffnung (26) besitzt.
6. Laser nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser eine Aluminiumoxid-Stromöffnung (26) besitzt.
7. Laser nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser einen Laser vom Mesa-Typ umfaßt.
8. Laser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Langwellen-Laser (12) eine Wellenlänge von 1550 nm besitzt.
9. Laser nach Anspruch 2 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (12) zwei Luftspalt-Spiegel enthält.
10. Laser nach Anspruch 2 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (12) einen Luftspalt-Spiegel und einen dielektrischen Spiegel enthält.
11. Laser nach Anspruch 2 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (12) zwei waferverschweißten GaAs/AlGaAs-Spiegel enthält.
12. Laser nach Anspruch 2 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (12) einen waferverschweißten GaAs/AlGaAs-Spiegel und einen dielektrischen Spiegel enthält.
13. Laser nach Anspruch 2 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (12) zwei dielektrische Spiegel enthält.
14. Laser nach Anspruch 2 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (12) zwei GaAs/AlGaAs-Spiegel und eine gitterangepaßte aktive GaInNAs-Schicht enthält.
15. Laser nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (12) einen Luftspalt-Spiegel und einen epitaktisch aufgewachsenen Spiegel enthält.
16. Laser nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (12) einen waferverschweißten GaAs/AlGaAs und einen InP/GaInAsP-Spiegel enthält.
17. Laser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Verbindung und Befestigung zwischen den Lasern (12, 20) durch einen optisch transparenten Klebstoff beibehalten wird.
18. Verfahren zur Herstellung eines vertikalen Langwellen-Laserresonators, mit:  
einem oberseitenemittierenden vertikalen Kurzwellen-Laserresonator (20) und  
einem optisch gepumpten oberflächenemittierenden vertikalen Langwellen-Laserresonator (12),  
mit den Schritten:  
Positionieren des Kurzwellen-Lasers (20) in überlagernder Beziehung zum Langwellen-Laser (12),  
Leiten eines elektrischen Stroms in den Kurzwellen-Laser (20), um eine Lichtemission zu erzeugen,  
Leiten eines emittierten Lichts durch einen unteren Spiegel des Langwellen-Lasers (12) und  
Anregen einer Langwellen-Emission von dem Langwellen-Laser (12) durch einen oberen Spiegel des Langwellen-Lasers (12).
19. Verfahren nach Anspruch 18, weiterhin mit dem Schritt Auswählen einer Spiegelreflektivität derart, daß Laserlicht aufwärts durch eine Öffnung (26) in dem Kurzwellen-Laser (20) gerichtet wird.
20. Verfahren nach Anspruch 18, wobei von dem Kurzwellen-Laser (20) emittiertes Licht in einem aktiven Bereich (14) des Langwellen-Lasers (12) absorbiert wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

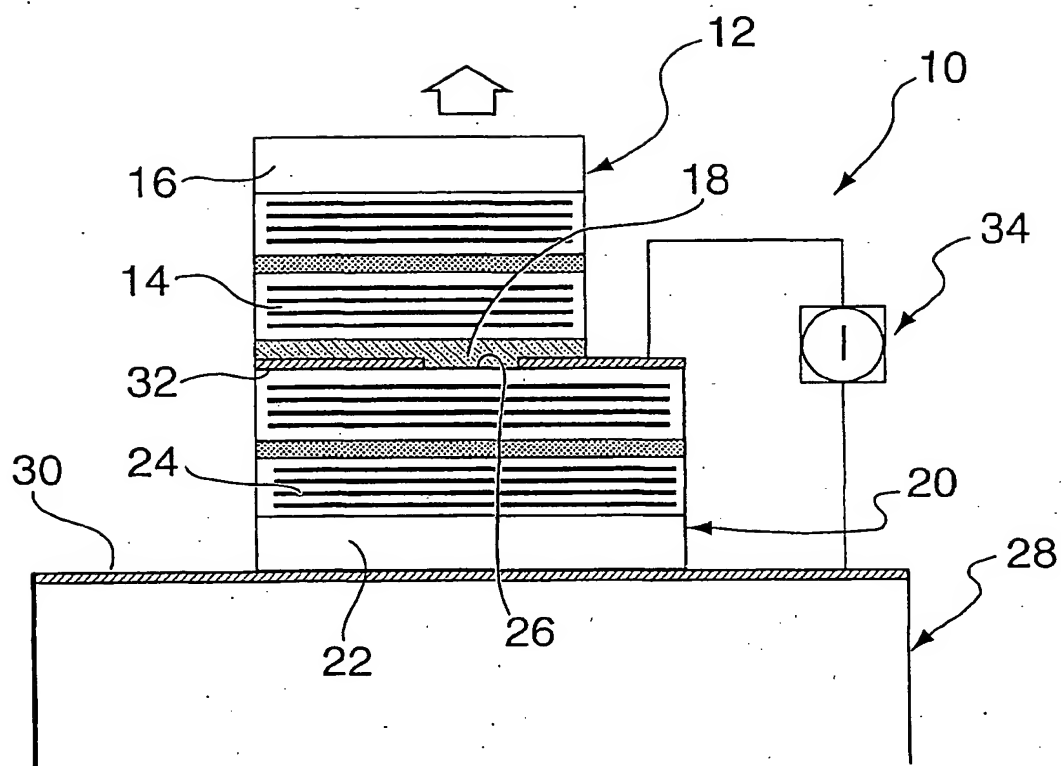


Fig. 1